

# 『結晶化ガラスの技術（第3版：2019年）』

(Wolfram Höland and George H. Beall著)

日本電気硝子(株) 基盤技術部

高木 雅隆

## “Glass-Ceramic Technology (3rd Edition: 2019)”

Written by Wolfram Höland and George H. Beall, Published by The American Ceramic Society

Masataka Takagi

Fundamental Technology Division, Nippon Electric Glass Co. Ltd.

本書は、第2版（2011年発行）の改定版である。目次は文末に示すとおりであり、各章のタイトルを訳すと以下のような感じとなる。

- 1章：結晶化ガラスデザインの考え方
- 2章：結晶化ガラス組成系
- 3章：微細構造制御
- 4章：結晶化ガラスの製品応用
- 5章：今後

1章では、結晶化ガラスをデザインするにあたり知っておくべきこととして、種々結晶の構造や鉱物特性に多くの頁が割かれている。ケイ酸塩、リン酸塩、 $\text{TiO}_2$  や  $\text{ZrO}_2$  などの酸化物についてそれぞれ項目が設けられ、例えばケイ酸塩では、ケイ酸塩の重合度 ( $\text{SiO}_4$  や  $\text{Si}_2\text{O}_7$ ) ごとに構造とともに熱膨張など特性が記載されて

いる。析出結晶構造が結晶化ガラスの例えば機械的特性や光学的特性に重要な因子であるという理由からである。この第3版では核形成および結晶成長についての説明の中に、「1.4.4 古典的核形成および結晶化理論 (CNT) の限界と新しいアプローチ」が1つの項目として追加された。新しい観察実験や、分子動力学法やモンテカルロ法などの計算による試みについて言及している。

2章では、実際に研究あるいは製品化された結晶化ガラスを全組成系および析出結晶ごとに項が設けられ、結晶析出温度や結晶形態（球状、樹枝状など）や大きさ、結晶転移、特性などについて解説している。相図が多く用いられており、結晶析出あるいは転移など理解がしやすい。2章で追加された項目を挙げると、まず、「2.6.7  $\text{P}_2\text{O}_5$ -FeO- $\text{Na}_2\text{O}$ （ピロリン酸塩）」が、全固体二次電池用正極として開発された材料として取り上げられている。「2.7 結晶化ガラスのイオン交換」で残存ガラス相あるいは結晶相へのイオン交換、「2.8 稀土類元素ドーブ光透過結晶化

ガラス」で蛍光体ガラスや長残光ガラス、「2.9 多重結晶化ガラス系開発の進展」ではさらなる特性の改善のために例えばアパタイトとリューサイト、あるいはリチウムダイシリケートとジオブサイド／ウォラストナイトなど、複数の結晶を析出させる系について解説が追加された。また「2.10 その他の系」には、「2.10.2  $\text{SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2\text{-La}_2\text{O}_3$  系 (マイクロ波誘電体用部品)」 「2.10.3  $\text{Eu}^{2+}$  発光母体  $\text{BaAl}_4\text{O}_7$ 」 「2.10.4 カルコゲナイド結晶化ガラス」 「2.10.5  $\text{LiTaO}_3$  結晶化ガラス (非線形光学特性)」 「2.10.6 バリウムフェライト析出結晶化ガラス (磁石)」が追加されている。

3章では、結晶化ガラスの特性に対し重要な因子であるという観点から、析出結晶の微細構造について、例えば、微細結晶、細胞膜構造、海岸と島構造、樹枝状構造などそれぞれ項を設け、得られる特徴的な性質について併せて解説している。微細構造と特性の関係をさらに説明するために3章では「3.3 鍵となる特性の制御」が追加された。韌性が高く低熱膨張の材料を得るためにエンスタタイト ( $\text{MgSiO}_3$ ) と  $\beta$ -スボジュメン ( $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$ ) を析出させた事例や、透明で熱膨張係数がシリコンに近い材料を得るためにガーナイト ( $\text{ZnAl}_2\text{O}_4$ ) と  $\beta$ -石英固溶体を析出させた事例などが紹介されている。

4章では、応用の面から使用目的に応じた製品の例を具体的に挙げている。例えば、光学部品用として析出結晶がエッチングされやすい Fotoceram®, 易加工性材料として雲母が析出した MACOR®, ゼロ膨張で反射鏡などに用いられている  $\beta$ -石英固溶体が析出した Zerodur®, 医療用途で骨置換に用いられたアパタイト-ウォラストナイトが析出した CERABONE® などが紹介されている。著者の一人である Höland 先生の研究対象である歯科材料 (歯冠材料) については特に詳しい。4章では、GHz 帯用の誘電特性に優れた材料として  $\text{La}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$  系の材料が開発されていることや、構造が機能を発現した例として  $12\text{CaO-7Al}_2\text{O}_3$

エレクトライドを追加紹介している。

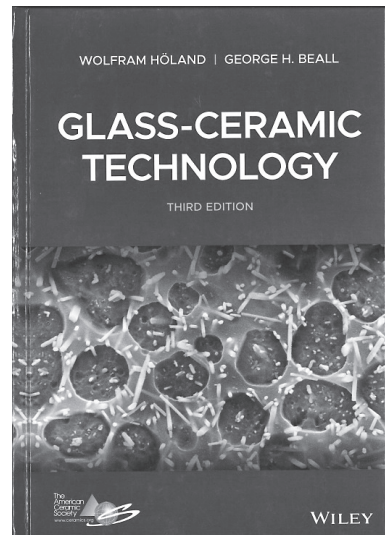
参照文献は、巻末に筆頭著者のアルファベット & 発行年順に記載されている。

結晶化ガラスが身近にありながら第2版も含めて初めて手にすることとなった。思い込みで間違った理解のまま記載している部分もあると思う。この点をご容赦いただきたい。今回は、全体の構成と第3版からの追加点を中心に紹介してみた。少しでも興味を持っていただければ幸いである。

## 目次

- 1 Principles of Designing Glass-Ceramic Formation
  - 1.1 Advantages of Glass-Ceramic Formation
  - 1.2 Factors of Design
  - 1.3 Crystal Structures and Mineral Properties
  - 1.4 Nucleation
  - 1.5 Crystal Growth
- 2 Composition Systems for Glass-Ceramics
  - 2.1 Alkaline and Alkaline Earth Silicate
  - 2.2 Aluminosilicates
  - 2.3 Fluorosilicates
  - 2.4 Silicophosphates
  - 2.5 Iron Silicates
  - 2.6 Phosphates
  - 2.7 Ion Exchange in Glass-Ceramics
  - 2.8 Rare Earth-Doped Light Transmitting Glass-Ceramics
  - 2.9 Extension of Glass-Ceramic Systems Developed on the Basis of Multifold Nucleation and Crystallization Mechanisms
  - 2.10 Other Systems
- 3 Microstructure Control
  - 3.1 Solid State Reactions
  - 3.2 Microstructure Design
  - 3.3 Control of Key Properties

- 3.4 Methods and Measurements
- 4 Applications of Glass-Ceramics
  - 4.1 Technical Applications
  - 4.2 Consumer Applications
  - 4.3 Optical Applications
  - 4.4 Medical and Dental Glass-Ceramics
  - 4.5 Electrical and Electronic Applications
  - 4.6 Architectural Applications
  - 4.7 Coatings and Solders
  - 4.8 Glass-Ceramics for Energy Applications
  - 4.9 Application of Glass-Ceramics Principle to Functional Materials
  - 4.10 Forming Processes for Glass-Ceramics
- 5 Future Directions



B5, 全422頁 (本文359頁)